

# Le chlore : un élément essentiel de la nutrition minérale des cocotiers hybrides dans le Lampung (Indonésie)

## *Chlorine : an essential element in the mineral nutrition of hybrid coconuts in Lampung (Indonesia)*

X. BONNEAU<sup>(1)</sup>, R. OCHS<sup>(2)</sup>, W.T. KITU<sup>(3)</sup>, YUSWOHADI<sup>(4)</sup>

**Résumé.** — Sur la plantation de P.T. MULTI-AGRO-Corporation, située dans le Lampung Central (Sud-Sumatra), à 90 km de la mer, le stress hydrique est le premier facteur limitant la production des cultures pérennes. En effet, une longue saison sèche revient à une fréquence d'au moins une année sur cinq, sur des sols sablo-argileux, peu profonds, à faible réserve en eau. Les expériences de nutrition minérale de cocotiers hybrides ont montré un effet prépondérant du chlore, à la fois sur le rendement en condition de stress hydrique faible, et sur la résistance à un stress hydrique fort, sur jeunes cocotiers et sur cocotiers adultes. Le niveau critique en Cl s'établit, pour l'hybride PB 121, à 0.42-0.45 % sur jeunes cocotiers (feuille 4) et 0.5 % sur cocotiers adultes (feuille 14). L'engrais NaCl est très efficace et beaucoup moins cher que le KCl, mais il ne peut être employé seul à cause de l'antagonisme K-Na. Pour maintenir à la fois de bonnes teneurs en K et en Cl, il faut employer une combinaison de KCl et de NaCl, dont les proportions idéales pour les conditions locales seront déterminées par expérimentation.

**Mots clés.** — Cocotier hybride, nutrition minérale, chlore, stress hydrique, niveau critique, chlorure de sodium.

**Abstract** — At the P.T. MULTI-AGRO-Corporation plantation in Central Lampung (South Sumatra), 90 km from the sea, water stress is the major factor limiting tree crop production. In fact a long dry season recurs at least once every five years, on relatively shallow loamy sand soils with a low water reserve. Experiments on hybrid coconut mineral nutrition have revealed that chlorine has a predominant effect on both yields under slight water stress conditions and resistance to high water stress, on young and adult coconut palms. The Cl critical level is 0.42-0.45% for young PB 121 hybrids (leaf 4) and 0.5% for adults (leaf 14). NaCl fertilizer is very effective and much cheaper than KCl but it cannot be used alone because of K-Na antagonism. In order to maintain good K and Cl contents at the same time, it is necessary to use a combination of KCl and NaCl, whose ideal proportions for local conditions are determined through experiments.

**Key words.** — Coconut hybrid, mineral nutrition, chlorine, water stress, critical level, sodium chloride

## INTRODUCTION

La société P.T. MULTI-AGRO-Corporation possède à Gunung Batin, dans le Lampung Central (pointe sud de l'île de Sumatra), une plantation de 10 000 ha, dont 8 000 ha de surface utile. 6 000 ha sont cultivés en cocotiers (hybrides PB 121 pour la plupart), parmi lesquels environ 2 000 ha sont interplantés avec des cacaoyers.

P.T. MAC a mis en place depuis 1987, avec le soutien de l'IRHO/CIRAD, un important réseau expérimental destiné à identifier les principaux problèmes agronomiques rencontrés et à y porter remède. La plus grande partie de l'expérimentation mise en oeuvre à Gunung Batin concerne la nutrition minérale des cocotiers. Parmi tous les éléments nutritifs étudiés, c'est le chlore qui, jusqu'à présent, a provoqué les réponses les plus spectaculaires.

## INTRODUCTION

The P.T. MULTI-AGRO-Corporation has a 10,000 ha plantation at Gunung Batin, in Central Lampung (southern tip of the island of Sumatra), with a useful area of 8,000 ha. 6,000 ha are planted with coconut (mostly PB 121 hybrids), around 2,000 ha of which are intercropped with cocoa.

In 1987, P.T. MAC began setting up an extensive experimental network with IRHO/CIRAD support, with a view to identifying the main agronomical problems encountered and providing solutions. Most of the experiments set up at Gunung Batin are on coconut mineral nutrition. Of the nutrients studied, chlorine has produced the most spectacular responses so far.

(1) Agronome cocotier CIRAD/Cultures Pérennes - Sutimah Building - Jalan Kemang Raya - Jakarta Selatan - 12790 (Indonésie)

(2) Responsable de l'Unité de Recherche Agronomie CIRAD/Cultures Pérennes - BP 5035 - Avenue du Val de Montferrand - 34032 Montpellier cedex (France)

(3) Directeur Technique de la cocoteraie MAC

(4) Agronome, Service Expérimentation, MAC

(1) Coconut agronomist, CIRAD/CP (Tree Crops Department) - Sutimah Building - Jalan Kemang Raya - Jakarta Selatan - 12790 (Indonesia)

(2) Head of the Agronomy Research Unit, CIRAD/CP (Tree Crops Department) - BP 5035 - Avenue du Val de Montferrand - 34032 Montpellier cedex (France)

(3) Technical Director of the MAC coconut plantation

(4) Agronomist, Experimentation Service, MAC

TABLEAU I. — Caractéristiques physico-chimiques des sols à Gunung Batin (parc A-21, lignes 85-102 — (Physico-chemical characteristics of soils at Gunung Batin -plot A-21, rows 85-102)

			Horizon		
			0-20 cm	20-40 cm	60-80 cm
Granulométrie (Texture)	Argile (Clay)	%	19.7	23.5	25.4
	Limon (Loam)	%	12.7	9.3	7.7
	Sable fin (Fine sand)	%	28.2	26.4	25.8
	Sable grossier (Coarse sand)	%	39.3	40.8	41.1
Matière organique (Organic matter)	Matière organique (Organic matter)	%	2.59	1.71	0.64
	C total (Total C)	%	1.50	0.99	0.37
	N total (Total N)	%	0.111	0.117	0.04
	Ratio C/N (C:N ratio)		13.5	8.5	9.0
Acidité (Acidity)	pH eau (1/2.5) (Water pH -1/2.5)		5.5	5.4	5.2
Phosphore (Phosphorus)	P total ppm (Total P ppm)		145	107	63
	P Saunders ppm (P Saunders ppm)		46	36	21
Complexe absorbant méthode Co (NH <sub>3</sub> ) <sub>6</sub> Cl <sub>3</sub> (Absorbing complex Co (NH <sub>3</sub> ) <sub>6</sub> Cl <sub>3</sub> method)	Ca meq/100g		1.22	0.81	0.28
	Mg meq/100g		0.30	0.19	0.11
	K meq/100g		0.06	0.03	0.03
	Na meq/100g		0.03	0.02	0.04
	S (somme) (s-value)		1.61	1.05	0.46
	Al meq/100g		0.32	0.41	0.59
	H meq/100g		0.05	0.05	0.06
	T (total)		1.98	1.51	1.11
	Saturation S/T		81 %	70 %	41 %

## CONTEXTE PEDOCLIMATIQUE DU LAMPUNG CENTRAL

### Sols

Les sols de la plantation de Gunung Batin se sont formés sur une plaine sédimentaire, qui s'étend entre la cordillère de Sumatra à l'Ouest et la mer de Java à l'Est. Ils sont de type ocre podzolique, à trois horizons :

- un horizon organique peu épais (une vingtaine de centimètres), de couleur brun foncé à noire, plus ou moins riche en matière organique (1 à 6 %) ;
- un horizon de lessivage, de couleur beige à ocre ;
- un horizon d'accumulation, de couleur brun-rouge, très concrétionné, fortement cimenté, très peu pénétrable par les racines. Cet horizon apparaît entre 70 et 150 cm.

Le tableau I donne un exemple de profil rencontré à Gunung Batin.

La texture de ces sols est sablo-argileuse, leur capacité d'échange cationique est faible (1 à 2 meq/100 g) avec un taux de saturation variable, allant de 20 à 80 % dans l'horizon organique (l'exemple du tableau 1 représente un cas au-dessus de la moyenne).

La réserve en eau de ces sols est faible, d'abord à cause de la présence de l'horizon concrétionné qui limite l'enracinement, d'où une faible profondeur utile de solum : 150 cm au maximum, alors que les racines de cocotier peuvent descendre jusqu'à 400 cm [10]. De plus, la texture, avec une faible teneur en limons, n'est pas favorable : d'après la courbe du domaine d'eau disponible en fonction de la teneur en argile [7], on peut estimer la D.E.D. du sol à Gunung Batin à 7-8 % seulement en moyenne sur la tranche utile. Cette estimation est confirmée par des mesures directes d'humidité de sol à différents pF, qui indiquent des valeurs de D.E.D. de 6 à 7 %. La réserve utile moyenne peut donc être estimée de la façon suivante :

$R.U. \text{ mm} = d.a \times D.E.D. \times p$ , avec :

- d.a. = densité apparente du sol (estimée à 1.3 g/cm<sup>3</sup>),
- D.E.D. = Domaine d'eau disponible (7 %),
- p = profondeur utile (100 cm + 20 cm de remontées capillaires = 120 cm),

soit  $R.U. = 1.3 \times 0.07 \times 1200 = 109 \text{ mm}$ .

## PEDOCLIMATIC CONTEXT IN CENTRAL LAMPUNG

### Soils

The soils on the Gunung Batin plantation formed on a sedimentary plain stretching from the Sumatra cordillera in the West to the Java Sea in the east. They are of the ochre podzolic type, with three horizons:

- a relatively thin (around twenty centimetres), dark brown to black organic layer, with varying amounts of organic matter (1 to 6%),
- a beige to ochre leaching horizon,
- a reddish-brown, hardpan accumulation horizon, through which roots can scarcely penetrate. This horizon occurs 70 to 150 cm down

Table I gives an example of the profile found at Gunung Batin.

The texture of these soils is loamy sand, with a low cation exchange capacity (1 to 2 meq/100 g) and a variable saturation rate ranging from 20 to 80% in the organic horizon (the example in table 1 shows a better than average case).

These soils have a low water reserve, primarily because of the hardpan horizon which limits rooting, hence a low useful solum depth: 150 cm at the most, whereas coconut roots can go down to a depth of 400 cm [10]. Moreover, the texture, with a low loam content, is unfavourable: from the curve for the available water reserve based on clay content [7], the A.W.R. can be estimated at only 7-8% on average for the soils at Gunung Batin in the useful layer. This estimate has been confirmed by direct soil moisture measurements at different pF, which indicate A.W.R. values of 6 to 7%. The mean useful reserve can therefore be estimated as follows:

$U.R. \text{ mm} = b.d. \times A.W.R. \times d$ , where:

- b.d. = bulk density of the soil (estimated at 1.3 g/cm<sup>3</sup>),
- A.W.R. = available water reserve (7%).
- d = useful depth (100 cm + 20 cm of capillary uplift = 120 cm),

i.e.  $U.R. = 1.3 \times 0.07 \times 1200 = 109 \text{ mm}$ .

TABLEAU II. – Pluviométrie, évaporation et déficit hydrique à Gunung Batin entre 1987 et 1991 — (*Rainfall, evaporation and water deficit at Gunung Batin between 1987 and 1991*)

	1987			1988			1989			1990			1991		
	P (R)	E (E)	DH (WD)	P (R)	E (E)	DH (WD)	P (R)	E (E)	DH (WD)	P (R)	E (E)	DH (WD)	P (R)	E (E)	DH (WD)
Janvier ( <i>January</i> )	213	90	—	503	130	—	216	87	—	207	126	—	367	140	—
Février ( <i>February</i> )	475	95	—	232	128	—	448	93	—	368	94	—	211	130	—
Mars ( <i>March</i> )	97	98	—	402	127	—	173	113	—	250	114	—	280	128	—
Avril ( <i>April</i> )	177	98	—	226	107	—	186	142	—	187	138	—	399	118	—
Mai ( <i>May</i> )	175	108	—	126	120	—	194	117	—	242	131	—	99	109	—
Juin ( <i>June</i> )	87	128	—	45	109	—	59	119	—	42	117	—	35	103	—
Juillet ( <i>July</i> )	89	136	—	72	121	13	88	132	4	80	121	16	5	143	116
Août ( <i>August</i> )	67	157	78	173	100	—	174	137	—	98	130	32	0	184	184
Septembre ( <i>September</i> )	6	171	145	100	141	—	56	146	53	133	147	14	18	184	166
Octobre ( <i>October</i> )	38	184	146	262	161	—	84	138	54	73	147	74	15	215	200
Novembre ( <i>November</i> )	127	138	11	334	114	—	402	118	—	98	154	56	313	134	—
Décembre ( <i>December</i> )	372	133	—	315	108	—	331	128	—	468	148	—	292	130	—
Total annuel ( <i>Annual total</i> )	1923	1536	400	2790	1466	13	2411	1470	111	2246	1567	192	2034	1718	666

## Climat

C'est un climat à deux saisons : une longue saison des pluies (mousson) de novembre à mai, avec un pic entre décembre et mars, et une longue saison sèche de juin à octobre.

Le tableau II montre que l'évapotranspiration peut être très intense pendant les mois secs, où l'hygrométrie de l'air est plus faible et la vitesse du vent plus forte. On mesure souvent plus de 150 mm/mois (soit : 5 à 6 mm/jour) avec un record à 215 mm/mois (7 mm/jour) en octobre 1991.

Les déficits hydriques annuels cumulés sont très variables ; l'examen de la pluviométrie dans la région depuis 1950 montre qu'il y a au moins deux années à longue sécheresse par décennie (par exemple 1987 et surtout 1991 dans le tableau II). De plus, le déficit hydrique est concentré sur une seule saison, sans interruption, ce qui, à quantité cumulée égale, est plus grave que s'il était réparti sur deux saisons par exemple.

## Conclusion

Avec une pluviométrie globale satisfaisante mais mal distribuée dans l'année, et la récurrence de longues et intenses saisons sèches sur des sols à faible réserve en eau, il est clair que l'alimentation hydrique est de loin le premier facteur limitant des cultures pérennes dans la région. La plantation de Gunung Batin est donc un endroit particulièrement propice à l'expression de l'effet d'ions favorisant la résistance à la sécheresse, tels que le chlore, d'autant plus que la plantation, située à 90 km de la mer, ne bénéficie pas d'apports de chlore atmosphérique par les embruns [3].

## L'EXPERIMENTATION CHLORE A GUNUNG BATIN

Quatre expériences de référence ont été mises en place à cet effet depuis 1987.

### GB CC 01

C'est un factoriel  $3^3$  à 2 répétitions, sur cocotiers hybrides PB 121 adultes, bien fertilisés depuis la plantation. Les traitements ont débuté en juin 1987, sur des cocotiers plantés en mars 1982 :

- engrais azoté, urée (46 % N), à trois niveaux :  
 $N0 = 0$   
 $N1 = 1000 \text{ g/arbre-an}$   
 $N2 = 2000 \text{ g/arbre-an}$
- engrais potassique et chloré, KCl (60 %  $K_2O$ , 46 % Cl), à trois niveaux :  
 $KCl0 = 0$   
 $KCl1 = 1000 \text{ g/arbre-an}$   
 $KCl2 = 2000 \text{ g/arbre-an}$
- engrais magnésien, dolomie (18 %  $MgO$ ), à trois niveaux :  
 $Mg0 = 0$   
 $Mg1 = 750 \text{ g/arbre-an}$   
 $Mg2 = 1500 \text{ g/arbre-an}$

Il n'y a pas d'autres engrais minéraux que ceux des traitements.

Cette expérience GB CC 01 étudie donc, entre autres, l'effet global du chlorure de potasse, sans pouvoir distinguer l'effet propre de K et celui de Cl.

### GB CC 02

C'est un factoriel  $2^5$  à 1 répétition, sur cocotiers hybrides PB 121 adultes, bien fertilisés depuis la plantation. Ces trai-

## Climate

The climate comprises two seasons: a long rainy season (monsoon) from November to May, with a peak from December to March, and a long dry season from June to October.

Table II shows that evapotranspiration can be very intense during the dry months, when the relative humidity is lower and the wind speed higher. More than 150 mm/month are often measured (i.e. 5 to 6 mm/day), the record being 215 mm/month (7 mm/day) in October 1991.

Cumulated annual water deficits are very variable; an examination of rainfall in the region since 1950 shows that there are at least two years per decade with a long drought period (e.g. 1987, and particularly 1991 in table II). Moreover, the water deficit is concentrated in a single season, without interruption, which, cumulated quantities being equal, is more serious than if it were distributed over two seasons, for example

## Conclusion

With satisfactory overall rainfall, though poorly distributed throughout the year, and the recurrence of long and intense dry seasons on soils with a low water reserve, it is clear that water supply is the major factor limiting tree crop cultivation in the region. The Gunung Batin plantation is therefore a particularly propitious place for expression of the effect of ions favouring resistance to drought, such as chlorine, especially since the plantation is located 90 km from the sea and does not benefit from atmospheric chlorine from sea spray [3]

## CHLORINE EXPERIMENTS AT GUNUNG BATIN

Four reference experiments have been set up on this subject since 1987.

### GB CC 01

This is a  $3^3$  factorial experiment with 2 replicates, involving adult PB 121 hybrid coconuts, which have been well fertilized since planting. Treatments began in June 1987, on trees planted in March 1982:

- nitrogen fertilizer, urea (46% N), three levels  
 $N0 = 0$   
 $N1 = 1,000 \text{ g/tree/year}$   
 $N2 = 2,000 \text{ g/tree/year}$
- potassium and chlorinated fertilizer, KCl (60%  $K_2O$ , 46% Cl), three levels:  
 $KCl0 = 0$   
 $KCl1 = 1,000 \text{ g/tree/year}$   
 $KCl2 = 2,000 \text{ g/tree/year}$
- magnesium fertilizer, dolomite (18%  $MgO$ ), three levels:  
 $Mg0 = 0$   
 $Mg1 = 750 \text{ g/tree/year}$   
 $Mg2 = 1,500 \text{ g/tree/year}$

There were no other mineral fertilizers apart from those in the treatments

Thus, among other things, experiment GB CC 01 studies the overall effect of potassium chloride, with no distinction between the specific effects of K and Cl.

### GB CC 02

This is a  $2^5$  factorial experiment with 1 replicate, involving adult PB 121 hybrid coconuts, well fertilized since

tements ont débuté en mai 1988, sur des cocotiers plantés en novembre 1981.

- **Objet P** : apport d'une dose d'engrais phosphaté, T.S.P. (46 %  $P_2O_5$ )  
 $P0 = 0$   
 $P1 = 1\,000$  g/arbre-an
- **Objet Cl** : apport d'une dose supplémentaire d'engrais chloré, NaCl (55 % Cl)  
 $Cl0 = 0$   
 $Cl1 = 1000$  g/arbre-an
- **Objet F** : fractionnement de l'apport d'engrais minéral  
 $F0 =$  une fois par an  
 $F1 =$  deux fois par an
- **Objet S** : localisation de l'apport d'engrais minéral  
 $S0 =$  dans le rond des cocotiers  
 $S1 =$  dans l'interligne
- **Objet FL** : facteur libre à fixer ultérieurement.

La fumure de base est constituée d'urée, de chlorure de potasse et de dolomite, calculée en fonction des teneurs foliaires respectives en N, K et Mg. On note donc que les cocotiers du traitement Cl0 reçoivent déjà du chlore par l'intermédiaire du KCl, dont la dose est calculée pour subvenir aux besoins en K. Le chlorure de sodium du traitement Cl1 est un supplément d'engrais chloré.

### GB CC 03

C'est un factoriel  $4 \times 2^3$  à 1 répétition, sur cocotiers hybrides PB 121 adultes, bien fertilisés depuis la plantation. Les traitements ont débuté en mai 1988, sur des cocotiers plantés en novembre 1983.

- Engrais chloré, chlorure de sodium (55 % Cl), à quatre niveaux  
 $Cl0 = 0$   
 $Cl1 = 1\,500$  g/arbre-an  
 $Cl2 = 3\,000$  " "  
 $Cl3 = 4\,500$  " "
- **Objet X** : débouillage (X1) ou non (X0) des noix au champ (début du traitement en janvier 1990).
- **Objets Y et Z** : facteurs libres à fixer ultérieurement.

La fumure de base est constituée d'urée, de sulfate de potasse et de dolomite, calculée en fonction des teneurs foliaires respectives en N, K et Mg. On emploie le sulfate de potasse et non pas le chlorure de potasse, pour ne pas introduire d'autre chlore que celui des traitements. Il s'avère que, compte-tenu du fort antagonisme K-Na, les teneurs en K des traitements Cl varient significativement. La dose de  $K_2SO_4$  dans chaque traitement Cl est donc modulée, de façon que les teneurs en K restent le plus constantes possibles, à un niveau non limitant ; cela pour bien isoler l'effet propre du chlore.

### GB CC 08

C'est un factoriel  $3^3$  subdivisé en 2, à 1 répétition, sur jeunes cocotiers hybrides PB 121 et PB 111 plantés en décembre 1989.

- Engrais potassique, sulfate de potasse (50 %  $K_2O$ ), à trois niveaux :  
 $K0 = 0$   
 $K1 =$  standard  
 $K2 = 2 \times$  standard
- Engrais magnésien, dolomite (18 %  $MgO$ ), à trois niveaux :  
 $Mg0 = 0$

*planting. These treatments began in May 1988 on trees planted in November 1981.*

- *Treatment P: application of one phosphate fertilizer rate, T S P (46%  $P_2O_5$ )*  
 $P0 = 0$   
 $P1 = 1,000$  g/tree/year
- *Treatment Cl: application of an additional chlorinated fertilizer rate, NaCl (55% Cl)*  
 $Cl0 = 0$   
 $Cl1 = 1,000$  g/tree/year
- *Treatment F: split mineral fertilizer application*  
 $F0 =$  once a year  
 $F1 =$  twice a year
- *Treatment S: siting of the mineral fertilizer application*  
 $S0 =$  in the coconut planting circle  
 $S1 =$  in the interrow
- *Treatment FF: free factor to be determined later.*

*The basic fertilization consists of urea, potassium chloride and dolomite, calculated according to leaf N, K and Mg contents respectively. Thus, the trees in treatment Cl0 are already receiving chlorine via the KCl, the rate of which is calculated to satisfy K requirements. The sodium chloride in treatment Cl1 represents a chlorinated fertilizer supplement.*

### GB CC 03

*This is a  $4 \times 2^3$  factorial experiment with 1 replicate, involving adult PB 121 hybrid coconuts, well fertilized since planting. The treatments began in May 1988, on trees planted in November 1983.*

- *Chlorinated fertilizer, sodium chloride (55% Cl), four levels*  
 $Cl0 = 0$   
 $Cl1 = 1,500$  g/tree/year  
 $Cl2 = 3,000$  " "  
 $Cl3 = 4,500$  " "
- *Treatment X: dehusking (X1) or not (X0) of nuts in the field (treatment began in January 1990)*
- *Treatments Y and Z: free factors to be determined later*

*The basic fertilizer consists of urea, potassium sulphate and dolomite, calculated according to leaf N, K and Mg contents respectively. Potassium sulphate is used rather than potassium chloride, so as not to introduce any other chlorine than that in the treatments. Given severe K-Na antagonism, the K contents in the Cl treatments vary significantly. The  $K_2SO_4$  rate in each Cl treatment is therefore modulated, so that K contents remain as constant as possible, at a non-limiting level, so as to bring out the specific effect of chlorine.*

### GB CC 08

*This is a  $3^3$  factorial experiment with 2 subdivisions and 1 replicate, involving young PB 121 and PB 111 hybrid coconuts planted in December 1989*

- *Potassium fertilizer potassium sulphate (50%  $K_2O$ ), three levels*  
 $K0 = 0$   
 $K1 =$  standard  
 $K2 = 2 \times$  standard
- *Magnesium fertilizer, dolomite (18%  $MgO$ ), three levels:*  
 $Mg0 = 0$



Mg1 = standard  
Mg2 = 2 × standard

- Engrais chloré, chlorure de sodium (55 % Cl). à trois niveaux :

Cl0 = 0  
Cl1 = même quantité que le K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> de K1  
Cl2 = 2 × Cl1

La fumure de base est constituée d'urée, de TSP et de borax, selon le barème standard pour jeunes cocotiers. Comme dans l'expérience précédente, GB CC 03, l'emploi du sulfate de potasse comme engrais potassique est destiné à séparer l'effet de chacun des deux éléments : K et Cl.

Mg1 = standard  
Mg2 = 2 × standard

- Chlorinated fertilizer, sodium chloride (55% Cl), three levels:

Cl0 = 0  
Cl1 = same quantity as K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> in K1  
Cl2 = 2 × Cl1

The basic fertilizer consists of urea, TSP and borax, based on the standard fertilizer schedule for young coconuts. As in the previous experiment, GB CC 03, potassium sulphate is used as the potassium fertilizer so as to separate the effects of each of the two elements, K and Cl

## RESULTATS

On exprime ici les résultats obtenus en 1991, année caractérisée par une sécheresse intense, qui a duré de début juin à début novembre (Tabl. II). Mais les récoltes des cocotiers adultes en 1991 ont été très peu influencées par cette sécheresse. En effet, à partir de juillet 1991, le stress hydrique a affecté les jeunes régimes (chutes de noix immatures) et les inflorescences (stérilité des inflorescences émises puis avortement total avant émergence) ; mais les noix de six mois et plus sont arrivées à maturité.

On considère donc que la récolte 1991, déterminée pendant les trois années précédentes et le début 1991, période relativement pluvieuse, représente un rendement en conditions de stress hydrique faible à modéré. Quant à l'effet du stress hydrique subi au cours du second semestre 1991, il a été mesuré en octobre, novembre et décembre de cette même année, sur les variables : nombre de feuilles vertes restant sur la couronne des arbres et taux de mortalité des cocotiers.

### GB CC 01

Les engrais azoté et magnésien n'ont provoqué aucune réponse significative des cocotiers, ni sur le rendement, ni sur la résistance au stress hydrique.

Le tableau III montre un effet positif très significatif du chlorure de potasse, tant sur le rendement des cocotiers en conditions de stress hydrique faible à modéré que sur leur résistance à un fort stress hydrique. Mais l'expérience GB CC 01 ne permet pas d'attribuer cet effet positif à l'un ou l'autre des deux constituants du KCl. Les teneurs foliaires des deux éléments varient dans des zones sensibles par rapport aux niveaux critiques de référence respectifs : 1.4 % K et 0.5 % Cl dans la feuille 14. Il y a donc probablement un effet conjugué des deux éléments.

## RESULTS

The results given here were obtained in 1991, a year characterized by an intense drought, which lasted from the beginning of June to the beginning of November (Table II). However, the yields from adult trees in 1991 were hardly affected by the drought. In fact, the water stress started affecting young bunches (immature nut-fall) and inflorescences (sterile inflorescences emitted, then total abortion before emergence) in July 1991, but nuts 6 months old and over reached maturity.

Hence, the 1991 harvest, which was determined over the previous three years and the beginning of 1991 - a relatively wet period - represents yields under low to moderate water stress conditions. The effects of the water stress incurred in the second half of 1991 were measured in October, November and December of the same year based on the following variables: number of green leaves remaining in the crowns and the coconut mortality rate.

### GB CC 01

The nitrogen and magnesium fertilizers resulted in no significant response from the trees, neither in terms of yields nor in resistance to water stress.

Table III reveals a highly significant positive effect for potassium chloride, on both coconut yields under low to moderate water stress conditions and on their resistance to severe water stress. However, in experiment GB CC 01 it was impossible to attribute this positive effect to either of the KCl constituents. The leaf contents for the two elements varied in sensitive zones compared to the respective reference critical levels: 1.4% K and 0.5% Cl in leaf 14. There is therefore probably a combined effect of the two elements.

TABLEAU III. — GB CC 01 - Production, teneurs foliaires et résistance à la sécheresse en 1991 — (GB CC 01 - Yields, leaf contents and resistance to drought in 1991)

Traitement (Treatment)	Nombre de noix/arbre (Number of nuts/tree)	Coprah/noix (Copro/nut) (G)	Coprah/arbre (Copro/tree) (kg)	Nombre de feuilles vertes (Number of green leaves) 10/91	% mortalité (Death rate %) 12/91	Teneurs foliaires en 05/91 (Leaf contents 05/91) (F14) (L14)		
						K %	Na %	Cl %
KCl0	66.5 (100)	185 (100)	12.6 (100)	7.8 (100)	22.2	1.109	0.039	0.270
KCl1	80.5** (121)	195** (105)	16.0** (127)	11.3** (144)	4.4**	1.402**	0.031*	0.388*
KCl2	89.1** (134)	201** (109)	18.2** (144)	13.0** (167)	1.9**	1.569**	0.029*	0.473**

TABLEAU IV. — GB CC 01 - Corrélations — (GB CC 01 - Correlations)

Variables corrélées ( <i>Correlated variables</i> )	Coefficient ( <i>Coefficient</i> )
NFV - K (NGL-K)	0.577***
NFV - K (Cl constant) (NGL-K - Cl constant)	0.311*
NFV - Cl (NGL-Cl)	0.521***
NFV - Cl (K constant) (NGL-Cl - K constant)	0.119

NFV = Nombre de feuilles vertes

(NGL = Number of green leaves)

TABLEAU V. — GB CC 02 - Production, teneurs foliaires et résistance à la sécheresse en 1991 — (GB CC 02 - Yields, leaf contents and resistance to drought in 1991)

Traitement ( <i>Treatment</i> )	Nombre de noix/arbre ( <i>Number of nuts/tree</i> )	Coprah/noix ( <i>Copra/nut</i> ) (G)	Coprah/arbre ( <i>Copra/tree</i> ) (kg)	Nombre de feuilles vertes ( <i>Number of green leaves</i> ) 10/91	% mortalité ( <i>Death rate %</i> ) 12/91	Teneurs foliaires en 05/91 ( <i>Leaf contents 05/91</i> ) (F14) (L14)		
						K %	Na %	Cl %
C10	84.5 (100)	209 (100)	17.8 (100)	14.9 (100)	3.6	1.295	0.089	0.441
C11	98.7** (117)	206 (98)	20.6** (116)	15.8** (106)	2.2	1.174**	0.217**	0.551**

La corrélation NFV-K tient mieux que la corrélation NFV-Cl, lorsque la deuxième variable explicative est fixée, ce qui montre que la résistance au stress hydrique des cocotiers est mieux expliquée par l'élément K que par l'élément Cl, sur cette expérience GB CC 01.

Par conséquent, si l'on peut admettre que le niveau critique en chlore est au moins égal à la teneur correspondant à KC12, soit 0.473 %, il ne faut pas sous-estimer l'effet propre au potassium dans cette expérience.

### GB CC 02

Ni le fractionnement ni la localisation de la fumure minérale n'ont marqué les cocotiers jusqu'à présent, quatre ans après le début de l'expérience. Il y a un début d'effet positif de l'engrais phosphaté sur la production en 1991, qui demande à être confirmé lors des prochaines campagnes.

Le tableau V montre un effet positif très significatif du chlorure de sodium, tant sur le rendement des cocotiers en conditions de stress hydrique faible à modéré que sur leur résistance à un fort stress hydrique. Seule la variable - taux de mortalité en décembre 1991, ne répond pas significativement à l'apport de chlorure de sodium, à cause d'un fort coefficient de variation (155 %), mais la tendance existe.

Il s'agit bien ici d'un effet propre du chlore et non pas du potassium, puisque les teneurs en K, du fait de l'antagonisme Na-K, varient à contre-gradient de l'effet positif. On trouve par ailleurs une corrélation positive NFV-Cl avec un coefficient  $r = 0.500$ .

Cette expérience GB CC 02 démontre donc bien un effet propre du chlore, indépendant du potassium. Sachant qu'il y a une amélioration significative du rendement et de la résistance au stress hydrique entre C10 et C11, on peut considérer le niveau critique en chlore comme supérieur ou égal à la teneur correspondant à C10, soit 0.441 %. Cela est conforme au niveau critique de référence de 0.5 % Cl dans la feuille 14.

### GB CC 03

Le tableau VI montre un effet positif très significatif du chlorure de sodium, tant sur le rendement des cocotiers en conditions de stress hydrique faible à modéré que sur leur résistance à un fort stress hydrique.

Il s'agit bien ici d'un effet propre du chlore, et non pas du potassium, puisque les teneurs en K, du fait de l'antagonisme Na-K, varient à contre-gradient des effets positifs.

La corrélation NFV-Cl tient bien lorsque K est fixé. Mais la corrélation négative NFV-K s'effondre lorsque Cl est fixé, ce qui montre bien qu'il s'agissait d'une fausse corrélation

*The NGL-K correlation stands up better than the NGL-Cl correlation, when the second explicative variable is constant, which shows that coconut resistance to water stress is better accounted for by K than by Cl, in experiment GB CC 01.*

*Consequently, although it can be assumed that the critical level for chlorine is at least equal to the content corresponding to KC12, i.e. 0.473%, the specific effect of potassium in this experiment should not be under-estimated*

### GB CC 02

*Neither split nor sited mineral fertilizer applications have had any effect on the trees so far, four years into the experiment. There are the beginnings of a positive effect for phosphate fertilizer on the 1991 yields, which needs to be confirmed in future seasons.*

*Table V reveals a highly significant positive effect for sodium chloride, on both coconut yields under low to moderate water stress conditions, and on their resistance to severe water stress. Only the variable - death rate in December 1991 - does not respond significantly to sodium chloride application, due to a strong variation coefficient (155%), though the trend exists.*

*The effect here is specific to chlorine and not potassium, since the K contents vary inversely to the positive effect, due to Na-K antagonism. There is also a positive NGL-Cl correlation with a coefficient of  $r = 0.500$*

*Experiment GB CC 02 therefore clearly shows an effect specific to chlorine, independent of potassium. Given that there is a significant improvement in yields and in resistance to water stress between C10 and C11, the critical level for chlorine can be considered to be greater than or equal to the content corresponding to C10, i.e. 0.441%. This is in compliance with the reference critical level of 0.5% Cl in leaf 14.*

### GB CC 03

*Table VI shows a highly significant positive effect for sodium chloride, on both coconut yields under low to moderate water stress conditions, and on their resistance to severe water stress*

*The effect here is specific to chlorine, not to potassium, since the K contents vary inversely to the positive effects, due to Na-K antagonism.*

*The NGL-Cl correlation stands up well when K is constant, but the negative correlation NGL-K collapses when Cl is constant, which clearly shows that it was a false*

TABLEAU VI. — GB CC 03 - Production, teneurs foliaires et résistance à la sécheresse en 1991 — (GB CC 03 - Yields, leaf contents and resistance to drought in 1991)

Traitement (Treatment)	Nombre de noix/arbre (Number of nuts/tree)	Coprah/noix (Copra/nut) (g)	Coprah/arbre (Copra/tree) (kg)	Nombre de feuilles vertes (Number of green leaves) 10/91	% mortalité (Death rate %) 12/91	Teneurs foliaires en 05/91 (Leaf contents 05/91) (F14) (L14)		
						K %	Na %	Cl %
NaCl0	86.5 (100)	178 (100)	16.2 (100)	6.4 (100)	23.3	1.368	0.091	0.206
NaCl1	101.1** (117)	194* (109)	19.8* (122)	13.5** (211)	1.7**	1.298	0.223**	0.476**
NaCl2	107.1** (124)	193* (108)	20.8* (129)	14.5** (227)	0.8**	1.203**	0.308**	0.589**
NaCl3	110.4** (128)	194* (109)	21.6* (134)	14.9** (232)	1.7**	1.090**	0.364**	0.618**

TABLEAU VII. — GB CC 03 - Corrélations — (GB CC 03 - Correlations)

Variables corrélées (Correlated variables)	Coefficient (Coefficient)
NFV - K (NGL-K)	-0.515**
NFV - K (Cl constant) (NGL-K - Cl constant)	0.073
NFV - Cl (NGL-Cl)	0.816***
NFV - Cl (K constant) (NGL-Cl - K constant)	0.740***

NFV = Nombre de feuilles vertes

(NGL = Number of green leaves)

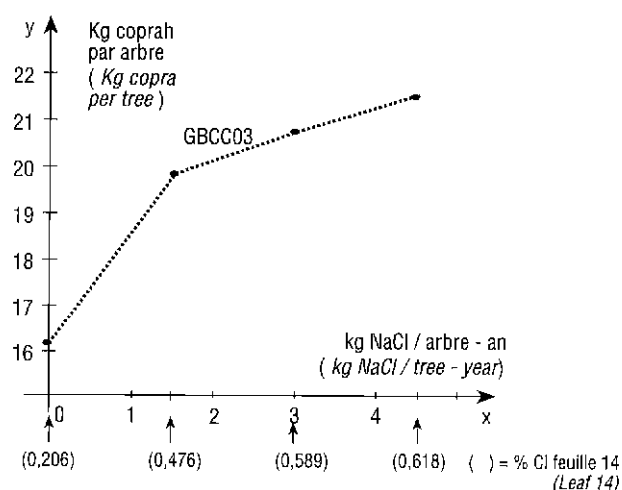


FIG. 1. — Production des cocotiers en 1991 en fonction de la dose de NaCl — (Coconut yields in 1991, depending on NaCl rate)

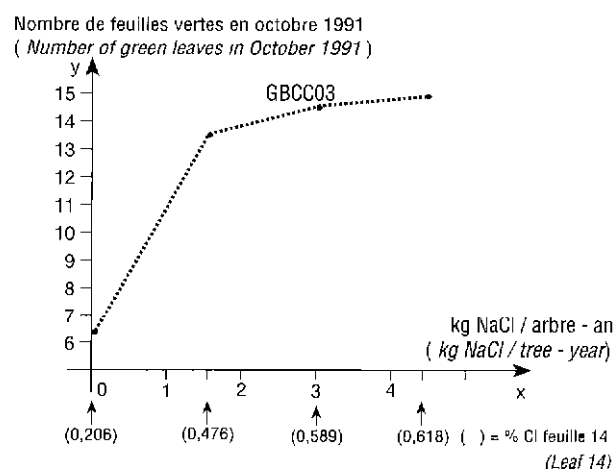


Fig. 2. — Résistance des cocotiers au stress hydrique en 1991, en fonction de la dose de NaCl — (Resistance of coconut to water stress in 1991, depending on NaCl rate)

(due à l'antagonisme K-Na, qui a provoqué une corrélation négative K-Cl avec  $r = -0.669$ ). L'analyse des corrélations confirme que la principale variable explicative de la résistance au stress hydrique sur l'expérience GB CC 03 est bien la teneur foliaire en chlore.

Cette expérience GB CC 03 démontre donc un effet propre du chlore, sur la production des cocotiers en conditions de stress hydrique non ou peu limitantes et sur la résistance des cocotiers à un fort stress hydrique. Dans les deux cas, l'allure de la courbe de réponse est la même, avec une pente très forte entre Cl0 et Cl1, qui devient très faible entre Cl1 et Cl2 (Fig 1 et 2).

Le niveau critique en Cl se situe donc un peu au-dessus de la teneur correspondant à la dose Cl1, soit légèrement supérieur à 0.476 %, ce qui est en parfait accord avec le niveau critique de 0.5 % proposé jusqu'alors (feuille 14). En dessous de cette teneur foliaire de 0.5 % Cl, non seulement la production serait limitée, mais surtout les dégâts du stress hydrique en cas de longue sécheresse seraient très grands, avec des conséquences insupportables pour une plantation commerciale : allongement du temps de reconstitution de la couronne foliaire et du temps de reprise de la floraison, accompagné d'une forte mortalité (23 % de cocotiers morts sur GB CC 03 à 0.206 % Cl, cf Tabl. VI). Il est donc impératif d'atteindre et de maintenir sur toute la plantation une teneur foliaire de 0.5 % Cl dans la feuille 14, de façon à limiter les effets dévastateurs d'un stress hydrique prolongé, qui revient à une fréquence à peu près régulière d'au moins une année sur cinq.

correlation (due to K-Na antagonism, which caused a negative K-Cl correlation with  $r = -0.669$ ). An analysis of correlations confirms that the main explicative variable of resistance to water stress in experiment GB CC 03 is indeed the leaf chlorine content

Experiment GB CC 03 therefore shows an effect specific to chlorine on coconut yields under non-limiting or barely limiting water stress conditions and on coconut resistance to severe water stress. In both cases, the response curve is the same, with a steep gradient between Cl0 and Cl1, which becomes very gentle between Cl1 and Cl2 (Fig. 1 and 2).

The Cl critical level is therefore a little above the content corresponding to rate Cl1, i.e. slightly over 0.476%, which tallies perfectly with the 0.5% critical level proposed so far (leaf 14). Below this leaf content of 0.5% Cl, not only would yields be limited, but in particular the damage caused by water stress in the event of a long drought would be substantial, with intolerable consequences for a commercial plantation, increase in the time taken for the crown to reform and for flowering to resume, along with a high death rate (23% of dead coconuts in GB CC 03 with 0.206% Cl, Table VI). It is therefore essential to reach and maintain a Cl content of 0.5% in leaf 14 throughout the plantation, so as to limit the devastating effects of prolonged water stress, which recurs fairly regularly at least every five years.



TABLEAU VIII. — GB CC 08 - Croissance, teneurs foliaires et résistance à la sécheresse en 1991 — (GB CC 08 - Growth, leaf contents and resistance to drought in 1991)

Hybride (Hybrid)	Traitement (Treatment)	Circonférence au collet (Girth) (cm)		Nombre de feuilles émises (Number of leaves emitted) 12/90 à (to) 06/91	Nombre de feuilles vertes (Number of green leaves) 10/91	% mortalité (Death rate %) 10/91	Teneurs foliaires en 04/91 (Leaf contents 04/91) (F4) (L4)		
		06/91 (m18)	12/91 (m24)				K %	Na %	Cl %
PB 121	K0	59.1	66.3	5.7	4.5	1.4	0.911	0.429	0.324
	K1	60.1	67.3	5.7	5.1	3.5	1.535**	0.274**	0.289
	K2	62.7	70.2	5.9	4.9	2.8	1.747**	0.248**	0.316
	Cl0	57.1	63.5	5.5	3.7	6.9	1.634	0.072	0.066
	Cl1	61.7	70.4*	6.0*	5.2**	0.7**	1.297**	0.419**	0.415**
	Cl2	63.2*	70.0*	5.8*	5.6**	0.0**	1.263**	0.460**	0.458**
PB 111	K0	41.4	47.9	5.0	3.6	6.9	0.665	0.399	0.352
	K1	43.1	49.9	5.1	4.0	1.4	1.457**	0.258**	0.247*
	K2	46.4*	53.1	5.3*	4.5*	0.7*	1.766**	0.205**	0.301
	Cl0	37.7	43.5	4.7	3.2	7.6	1.384	0.075	0.089
	Cl1	46.3**	53.9**	5.3**	4.4**	0.7**	1.315	0.356**	0.374**
	Cl2	46.9**	53.5**	5.3**	4.7**	0.7**	1.188*	0.429**	0.437**

TABLEAU IX. — GB CC 08 - Corrélations — (GB CC 08 - Correlations)

Variables corrélées (Correlated variables)	Coefficient (Coefficient) r
NFV - K (NGL - K)	0.132
NFV - K (Cl constant) (NGL - K - Cl constant)	0.451**
NFV - K (Cl+Mg constants) (NGL - K - Cl + Mg constant)	0.366**
NFV - Cl (NGL - Cl)	0.561***
NFV - Cl (K constant) (NGL - Cl - K constant)	0.667***
NFV - Cl (K+Mg constants) (NGL - Cl - K+Mg constant)	0.633***
CC - K (G - K)	0.214
CC - K (Cl constant) (G - K - Cl constant)	0.389**
CC - K (Cl+Mg constants) (G - K - Cl+Mg constant)	0.692***
CC - Cl (G - Cl)	0.331*
CC - Cl (K constant) (G - Cl - K constant)	0.456**
CC - Cl (K+Mg constants) (G - Cl - K+Mg constant)	0.691***

NFV = Nombre de feuilles vertes EN 10/91  
CC = Circonférence au collet (cm) en 12/91

(NGL = Number of green leaves in 10/91)  
(G = Girth - cm - in 12/91)

## GB CC 08

L'engrais magnésien n'a provoqué aucune réponse significative des jeunes cocotiers, à l'exception d'effets intermittents, non reproductibles, qui peuvent donc être considérés comme des artefacts.

Il existe un effet positif significatif du chlorure de sodium sur la croissance végétative des deux hybrides, dès la dose Cl1 (en moyenne, + 15 % sur la circonférence au collet, + 9 % sur le nombre de feuilles émises, entre Cl0 et Cl1). Il existe aussi un effet positif du sulfate de potasse sur la croissance végétative, mais moins net, les jeunes hybrides PB 111 répondant mieux à la fumure potassique que les jeunes hybrides PB 121.

La tendance est la même pour la résistance au stress hydrique : effet positif prédominant du chlorure de sodium sur les deux hybrides, dès la dose Cl1, effet moins fort du sulfate de potasse, significatif à la dose K2 seulement pour les hybrides PB 111.

Les teneurs foliaires en K augmentent avec la dose de sulfate de potasse appliquée, ce qui montre une bonne absorption de cet engrais. Sachant qu'il y a une augmentation substantielle de croissance (significative ou non dans le dispositif statistique de l'expérience) entre K0 et K1 et encore entre K1 et K2, on peut considérer que le niveau critique en K est supérieur ou égal à la teneur correspondant au niveau K2, soit : supérieur à 1.75 % pour l'hybride PB 121, supérieur à 1.77 % pour l'hybride PB 111. Ces valeurs sont conformes au niveau critique de référence de 2.0 % K dans la feuille 4. On note que la gamme de variation des teneurs

## GB CC 08

Magnesium fertilizer caused no significant response in young trees, apart from intermittent, non-reproducible effects, which can therefore be considered as artefacts.

There is a significant positive effect for sodium chloride on the vegetative growth of the two hybrids, right from rate Cl1 (+15% for girth and +9% for the number of leaves emitted, on average, between Cl0 and Cl1). There is also a positive potassium sulphate effect on vegetative growth, though less marked, with young PB 111 hybrids responding better to potassium fertilization than young PB 121 hybrids.

The tendency is the same for resistance to water stress: predominant positive effect of sodium chloride on both hybrids, right from rate Cl1, with a weaker potassium sulphate effect, significant at rate K2, for the PB 111 hybrids only.

Leaf K contents increase in line with the amount of potassium sulphate applied, which indicates good uptake for this fertilizer. Given that there is a substantial increase in growth (significant or not in the statistical design of the experiment) between K0 and K1 and again between K1 and K2, the critical level for K can be considered to be greater than or equal to the content corresponding to level K2, i.e. over 1.75% for the PB 121 hybrid, over 1.77% for the PB 111 hybrid. These values comply with the reference critical level of 2.0% K in leaf 4. It can be seen that the range of variations

en K est plus forte pour les cocotiers PB 111 que pour les cocotiers PB 121, ce qui est à relier à la réponse plus nette des hybrides PB 111 au sulfate de potasse. Il existe aussi, pour les deux hybrides, un fort antagonisme K-Na, dans les deux sens : dépression des teneurs en K par le NaCl, dépression des teneurs en Na par le  $K_2SO_4$ .

Les teneurs foliaires en Cl augmentent avec la dose de chlorure de sodium appliquée, ce qui montre une bonne absorption de cet engrais. Sachant qu'il existe une forte réponse entre Cl0 et Cl1, mais pas entre Cl1 et Cl2 (sauf une légère amélioration de la résistance à la sécheresse : nombre de feuilles vertes en fin de saison sèche), on peut considérer que le niveau critique en Cl est très légèrement supérieur à la teneur correspondant au niveau Cl1, soit : 0.415 % pour l'hybride PB 121, 0.374 % pour l'hybride PB 111, dans la feuille n° 4.

Sur la matrice de corrélations totales, la variable Cl explique mieux les variations de croissance végétative que la variable K. Les coefficients de corrélation s'améliorent pour chacune des deux variables lorsque l'autre est fixée. Cl restant toujours plus explicatif que K. Lorsque la teneur en Mg est fixée à son tour, les coefficients de corrélation continuent de s'améliorer pour la circonférence au collet, alors qu'ils diminuent quelque peu pour le nombre de feuilles vertes. La croissance végétative (CC) est aussi bien expliquée par Cl que par K ( $r^2 = 0.48$  dans les deux cas) alors que la résistance au stress hydrique (NFV) est mieux expliquée par Cl ( $r^2 = 0.40$ ) que par K ( $r^2 = 0.14$ ).

L'expérience GB CC 08 montre donc que l'effet positif de l'ion chlore, déjà bien connu sur cocotiers adultes, s'exerce aussi sur jeunes cocotiers, à la fois sur leur croissance en conditions de stress hydrique faible à modéré et sur leur résistance à un fort stress hydrique. GB CC 08 démontre aussi que l'effet positif du chlore est plus fort que celui du potassium, sur la résistance à la sécheresse et au moins aussi fort sur la croissance proprement dite, dans les conditions expérimentales de GB CC 08.

Il est donc indispensable d'assurer aux jeunes cocotiers hybrides une nutrition en chlore appropriée dès la plantation, par des apports bisannuels de chlorure de sodium, en prenant garde toutefois de ne pas induire une carence en potassium par un excès de sodium. Le niveau critique en chlore (0.45 % Cl dans la feuille 4 pour l'hybride PB 121) sera donc obtenu au moyen d'apports combinés de KCl et NaCl, en proportions telles que la teneur foliaire en K soit maintenue proche du niveau critique (2.0 % K dans la feuille 4 pour l'hybride PB 121).

## DISCUSSION

Les expériences de nutrition minérale en chlore mises en place à Gunung Batin confirment de façon parfaitement claire la forte réponse des cocotiers hybrides au chlore, qui agit à la fois comme facteur de résistance au stress hydrique [1] [2] et comme facteur de production en conditions de stress hydrique faible à modéré. Il apparaît également, comme l'avaient noté Magat et al [4] [5], que le chlore est un élément nutritif essentiel aux cocotiers adultes et aux jeunes cocotiers dès la plantation, et même au stade pépinière [6]. Une fumure chlorée spécifique doit donc être appliquée dès le jeune âge.

Les niveaux critiques en chlore s'établissent à environ 0.45 % Cl sur la feuille 4, et 0.5 % Cl sur la feuille 14, pour l'hybride PB 121, valeurs conformes au niveau critique de référence proposé par l'IRHO.

L'engrais chloré le plus efficace à Gunung Batin est le chlorure de sodium : NaCl à 55 % Cl. Son prix de 80 Rp/kg le rend plus attractif que le chlorure de potassium : KCl à 46 % Cl, qui coûte 280 Rp/kg à la fin de l'année 1991. On ob-

for K contents is greater for PB 111 than for PB 121, which can be linked to the clearer response of the PB 111 hybrids to potassium sulphate. For both hybrids, there is also strong K-Na antagonism, in both directions: depression of K contents by NaCl, depression of Na contents by  $K_2SO_4$ .

Leaf Cl contents increase in line with the amount of sodium chloride applied, which reveals good uptake for this fertilizer. Given that there is a strong response between Cl0 and Cl1, but not between Cl1 and Cl2 (apart from a slight improvement in resistance to drought: number of green leaves at the end of the dry season), the critical level for Cl can be considered to be slightly higher than the content corresponding to level Cl1, i.e. 0.415% for the PB 121 hybrid and 0.374% for the PB 111 hybrid, in leaf 4.

In the matrix of total correlations, the Cl variable provides a better explanation of variations in vegetative growth than the K variable. The correlation coefficients improve for each of the variables when the other is constant, Cl always remaining more explicative than K. When the Mg content remains constant in its turn, the correlation coefficients continue to improve for girth measurements, whereas they diminish somewhat for the number of green leaves. Vegetative growth (G) is as well explained by Cl as it is by K ( $r^2 = 0.48$  in both cases), whereas resistance to water stress (NGL) is explained better by Cl ( $r^2 = 0.40$ ) than by K ( $r^2 = 0.14$ ).

Experiment GB CC 08 therefore shows that the positive effect of the chlorine ion, which was already well-known on adult coconuts, is also exerted on young coconuts, for both growth under low to moderate water stress conditions and for resistance to severe water stress. GB CC 08 also shows that the positive effect of chlorine is greater than that of potassium as regards resistance to drought and at least as great as regards actual growth, under the experimental conditions in GB CC 08.

It is therefore essential to ensure that young hybrid coconuts receive appropriate chlorine nutrition right from planting, through two-yearly sodium chloride applications, though taking care not to induce a potassium deficiency through excess sodium. The critical chlorine level (0.45% Cl in leaf 4 for the PB 121 hybrid) should therefore be obtained through combined KCl and NaCl applications, in proportions such that the leaf K content is maintained close to the critical level (2.0% K in leaf 4 for the PB 121 hybrid).

## DISCUSSION

The chlorine mineral nutrition experiments set up at Gunung Batin provide clear confirmation of the strong response of hybrid coconuts to chlorine, which is a factor in both resistance to water stress [1] [2] and in production under low to moderate water stress conditions. It also appears, as reported by Magat et al [4] [5], that chlorine is an essential nutrient for adult coconuts and young coconuts right from planting, and even at the nursery stage [6]. A specific chlorine fertilizer must therefore be applied, right from an early age.

The critical levels for chlorine amount to 0.45% Cl in leaf 4 and 0.5% Cl in leaf 14, for the PB 121 hybrid; these values comply with the reference critical level proposed by IRHO.

The most effective chlorine fertilizer at Gunung Batin is sodium chloride: NaCl at 55% Cl. Its cost of Rp 80/kg makes it more attractive than potassium chloride: KCl at 46% Cl, which cost Rp 280/kg at the end of 1991. Hence, the cost ob-

tient donc, à l'unité fertilisante Cl : 145 Rp/kg de chlore pour le chlorure de sodium contre 609 Rp/kg de chlore pour le chlorure de potassium, qui s'avère donc quatre fois plus cher. Cependant, l'expérimentation à Gunung Batin a confirmé un fort effet dépressif du chlorure de sodium sur les teneurs foliaires en K, un excès de NaCl induirait certainement une carence en K. Il faut donc assurer une bonne nutrition chlorée sans mettre en danger la nutrition potassique, par des apports combinés de KCl et NaCl, dont la proportion idéale sera déterminée par expérimentation.

## CONCLUSION

Depuis que Ollagnier et Ochs [8] avaient soupçonné le rôle majeur du chlore en 1971, toutes les expériences ont confirmé l'importance de la nutrition chlorée chez le cocotier, que ce soit en Afrique de l'Ouest, en Indonésie ou aux Philippines [4] [5] [9]. Le mécanisme d'action de l'ion chlore comme facteur de la résistance au stress hydrique est mieux connu [1] [2], mais il faudra aussi s'intéresser à son action comme facteur de production dans les situations à déficit hydrique faible ou nul.

Ce double rôle du chlore implique donc que, à l'exception des endroits où la nutrition est assurée par les apports météoriques, comme par exemple les franges côtières recevant les embruns maritimes, la fumure chlorée aura souvent pour effet d'améliorer la production des cocotiers et leur résistance à la sécheresse.

**Remerciements.** — Les auteurs remercient vivement la société MULTI-AGRO Corporation et son directeur, Mr Kusumo Subagio pour l'intérêt qu'il a porté à ces recherches et pour l'autorisation d'en publier les résultats.

*tained for a Cl fertilizing unit is Rp 145/kg of chlorine with sodium chloride, as opposed to Rp 609/kg of chlorine with potassium chloride, i.e. four times as expensive. However, the experiments at Gunung Batin confirmed a very strong depressive effect of sodium chloride on leaf K contents excess NaCl would certainly induce a K deficiency. Satisfactory chlorine nutrition must therefore be provided without endangering potassium nutrition, through combined applications of KCl and NaCl, the ideal proportions being determined in experiments.*

## CONCLUSION

*Since Ollagnier and Ochs [8] first suspected the major role played by chlorine in 1971, all experiments have confirmed the importance of coconut palm chlorine nutrition, whether in West Africa, Indonesia or the Philippines [4] [5] [9]. More is now known of how the chlorine ion acts as a factor in resistance to water stress [1] [2], but its action as a factor in yields, in low or nil water stress situations, also needs to be investigated.*

*Hence this dual role attributed to chlorine means that chlorinated fertilizer will often improve coconut yields and their resistance to drought, apart from in areas where the nutrient is supplied atmospherically from sea spray, as along coastal strips.*

**Acknowledgements.** — The authors sincerely thank MULTI-AGRO Corporation and its Director, Mr Kusumo Subagio, for the interest shown in this research and for permission to publish the results.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] BRACONNIER S., D'AUZAC J. (1989). — Effet d'une carence en chlore au champ chez le cocotier hybride PB 121. *Oléagineux*, **44**, (10) : 467-472.
- [2] BRACONNIER S., D'AUZAC J. (1990). — Chloride and stomatal conductance in coconut. *Oléagineux*, **45** (6) : 259-263.
- [3] DELMAS R., DJOUKA A. (1983). — Etude des apports atmosphériques de chlore aux sols en basse Côte-d'Ivoire. *Oléagineux*, **38** (7) : 429-437.
- [4] MAGAT S., MARGATE R., HABANA J. (1988). — Effects of increasing rates of sodium chloride (common salt) fertilization on coconut palms grown under an inland soil (Tropudalé) of Mindanao, Philippines. *Oléagineux*, **43** (1) : 12-17.
- [5] MAGAT S., ALFORJA L., OGUI S. L. (1988). — An estimation of the critical and optimum levels of leaf-chlorine in bearing coconuts: a guide for foliar diagnosis. *Philippine Journal of Coconut Studies*, 1988, **13** (2) : 6-10.
- [6] MARGATE R., MAGAT S. (1988). — Growth response of coconut seedlings from seednuts collected from palms fertilized with sodium chloride (common salt). *Philippine Journal of Coconut Studies*, 1988, **13** (1) : 1-5.
- [7] OCHS R., OLIVIN J. (1978). — Propriétés hydriques des sols et alimentation en eau des oléagineux pérennes en Afrique de l'Ouest. *Oléagineux*, **33** (1) : 1-12.
- [8] OLLAGNIER M., OCHS R. (1971). — La nutrition en chlore du palmier à huile et du cocotier. *Oléagineux*, **26** (6) : 367-372.
- [9] OLLAGNIER M., OCHS R., POMIER M., DE TAFFIN G. (1983). — Action du chlore sur le cocotier hybride PB 121 en Côte-d'Ivoire et en Indonésie. Développement, tolérance à la sécheresse, production. *Oléagineux*, **38** (5) : 309-321.
- [10] POMIER M., BONNEAU X. (1987). — Développement du système racinaire du cocotier en fonction du milieu en Côte d'Ivoire. *Oléagineux*, **42** (11) : 409-421.

## RESUMEN

### **El cloro : un elemento esencial de la nutrición mineral de los cocoteros híbridos en el Lampung (Indonesia)**

X. BONNEAU, R. OCHS. W.T. KITU, YUSWOHADI, *Oléagineux*, 1993, **48**, N°4, p. 179-190

En la plantación de P.T. MULTI-AGRO-Corporation, localizada en el Lampung Central (Sur de Sumatra), a 90 km del mar, el stress por falta de agua es el primer factor limitante de la producción de los cultivos permanentes. De hecho, una larga estación seca se da por lo menos cada cinco años, en suelos areno-arcillosos poco profundos y con poca reserva de agua. Los experimentos de estado nutricional de cocoteros híbridos han mostrado un efecto dominante del cloro, tanto en el rendimiento dentro de condiciones de stress reducido por falta de agua, como en la resistencia a un stress severo por falta de agua, en cocoteros jóvenes y en cocoteros adultos. El nivel crítico de Cl se establece para el híbrido PB 121 en 0,42 a 0,45 % en cocoteros jóvenes (hoja 4) y 0,5 % en cocoteros adultos (hoja 14). El fertilizante NaCl es muy eficiente y mucho más barato que el KCl, pero no puede emplearse solo por el antagonismo K-Na. Para mantener contenidos tanto de K como de Cl satisfactorios, debe usarse una combinación de KCl y NaCl, cuyas proporciones ideales para las condiciones locales se establecerán a través de experimentación.

**Palabras claves.** — Cocotero híbrido, estado de nutrición, cloro, stress por falta de agua, nivel crítico, cloruro de sodio